

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Jaime Cesar de Carvalho Junior

**Qualidade de serviço em redes IEEE 802.16:
Como agendar tráfego para cumprir os
requisitos QoS de classes heterogêneas de
tráfego.**

Rio de Janeiro

2005

Jaime Cesar de Carvalho Junior

Qualidade de serviço em redes IEEE 802.16:

Como agendar tráfego para cumprir os requisitos

QoS de classes heterogêneas de tráfego

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Prof^a. Luci Pirmez, D. Sc. - COPPE/UFRJ - Brasil

Rio de Janeiro

2005

Jaime Cesar de Carvalho Junior

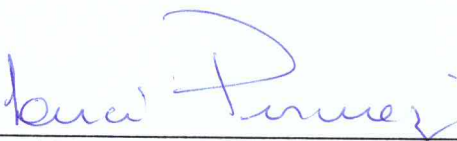
Qualidade de serviço em redes IEEE 802.16:

Como agendar tráfego para cumprir os requisitos

QoS de classes heterogêneas de tráfego

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em outubro de 2005.



Prof.a. Luci Pirmez, D.Sc. - COPPE/UFRJ - Brasil

À minha esposa, sempre presente e me incentivando a fazer bem-feito aquilo que me proponho a fazer.

AGRADECIMENTOS

À professora Luci Pirmez, pela postura desafiadora e inteligente na orientação acadêmica que despertou meu interesse pelo trabalho de pesquisa. Aos alunos da turma 2004 do MOT-CN que proporcionaram um ambiente alegre e amigo, tornando o curso ainda mais agradável de se levar.

RESUMO

CARVALHO JR., Jaime Cesar de. **Qualidade de serviço em redes IEEE 802.16: Como agendar tráfego para cumprir os requisitos QoS de classes heterogêneas de tráfego**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

O grande sucesso comercial da telefonia móvel, o enorme crescimento dos usuários móveis e usuários da Internet, além da popularidade das aplicações multimídia baseadas em IP são as forças que impulsionam as redes sem fio de terceira geração 3G (Tecnologia digital, serviços de voz, dados, multimídia e Internet, maior velocidade de transmissão de dados, comutação por pacotes). Já se fala em tecnologia sem fio de 4G que deverá integrar as diferentes redes sem fio de diversas tecnologias existentes. Nesse cenário surge o WIMAX (IEEE 802.16) como promessa para esta unificação (os especialistas esperam ver a 4G no mercado somente em 2012). O WIMAX é uma rede metropolitana em banda larga sem fio da chamada “última milha”. O padrão IEEE 802.16 foi concebido com o intuito de atender as necessidades dos usuários de acessar serviços multimídia (voz, dados e imagem) de alta qualidade, associados a um sistema de acesso com elevada disponibilidade. Neste contexto, esse padrão especifica a camada mac e física de forma a fornecer acesso e compartilhamento eficiente do meio aéreo com suporte a qualidade de serviço através de mecanismos de agendamento de fluxo de serviços. Esses mecanismos tratam os vários fluxos e são capazes de diferenciá-los. Entretanto, certos pontos não foram cobertos pela camada MAC do padrão IEEE 802.16 e deixados sob a responsabilidade dos fabricantes. Um desses pontos é como combinar de forma eficiente a estratégia de requisição de banda e a estratégia de alocação de banda (agendador) para manter QoS e justa distribuição entre os diferentes tráfegos. Um outro ponto é que as requisições de alta prioridade não podem ser identificadas durante o acesso e, portanto, podem permanecer colidindo com requisições de prioridade baixa. Esse trabalho apresenta a proposta de GuoSong *et al* [1] que busca solucionar algum desses pontos.

ABSTRACT

CARVALHO JR., Jaime Cesar de. **Qualidade de serviço em redes IEEE 802.16: Como agendar tráfego para cumprir os requisitos QoS de classes heterogêneas de tráfego**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

The huge commercial success of mobile telephony, the continuous growth of Internet users and mobile Internet users, as well as the wide spreading of IP-based multimedia applications play an important role to the development of the third generation wireless networks. These networks are also known as 3G – digital technology that supports voice, data, multimedia and Internet broadband service through packet commutation. The concept of a forth-generation network is already being discussed, which is based upon a unification of several different wireless networks. In this scenario, WIMAX (IEEE 802.16) comes out as the promise for this unification (specialists predict that until 2012 WIMAX will be a market reality). The WIMAX is a metropolitan broadband wireless network solution for the “last mile” problem. The IEEE 802.16 standard was devised to users who want access to high quality multimedia services and a system with high availability too. Keeping this in mind, this standard specifies the mac and physical layer to offer a mechanism to efficiently share the air medium with QoS guarantees through service flow scheduling mechanisms. These mechanisms are able to distinguish between these flows, as well as to organize them. However, in IEEE 802.16 MAC protocols some issues are not addressed. One of these issues is how to combine efficiently bandwidth request strategy and bandwidth allocation (scheduling) strategy to maintain QoS and fairness for different traffic. Another issue is that high priority requests cannot be distinguished during first access and they may keep colliding with low priority requests. This work presents a suggestion of GuoSong et al [1] to solve some of these issues.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – IEEE 802.16 na família IEEE 802	15
Figura 2 – Divisão em camadas e pontos de acesso (SAPs)	16
Figura 3 – Utilização de DL-MAPs e UL-MAPs	26
Figura 4 – Arquitetura de uma BWA	28
Figura 5 – Sugestão de arquitetura Qos para MAC do IEEE 802.16	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Prioridade e Políticas de Filas dos Fluxos de Serviços

Página
33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G	Third generation
4G	Fourth generation
ATM	Asynchronous transfer mode
BE	Best Effort Service
BS	Base Station
BWA	Broadband Wireless Access
CBR	Constant-bit-rate
CID	Connection identifier
CPS	Common part sublayer
CRA	Contention Resolution Algorithm
CS	Convergence sublayer
CSA	Contention Slot Algorithm
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL-MAP	Downlink Map
DSL	Digital subscriber line
FDD	Frequency Division Duplex
FIFO	First In First Out
FTP	File Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
Ipv4	Internet protocol version 4
Ipv6	Internet protocol version 6
LAN	Local Area Network
LOS	Line of Sight
MAC	Medium Access Control
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPFQ	Multiclass Priority Fair Queuing MPFQ
NLOS	Non- Line of Sight
nrtPS	Non-Real-Time Polling Service
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PDU	Protocol Description Unit
PHS	Payload header suppression
PHY	Physical
PM-bit	Poll Me bit
PMP	Point-to-Multi-Point
QoS	Quality of Service
RNG-RSP	Ranging Response
RTD	Round Trip Delay
rtPS	Real-Time Polling Service
SAP	Service access point
SDU	Service data unit
SFID	Service flow identifier
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOHO	Small Office Home Office
SS	Subscriber Station
TDD	Time Division Duplex

TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time division multiple access
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UGS-AD	Unsolicited Grant Service with Active Detection
UL-MAP	Uplink Map
VLAN	Virtual Local Area Network
WFQ	Weighted Fair Queuing
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPS	Wireless Packet Scheduling
WRR	Weighted Round Robin

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
1.2 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA	14
2 CONCEITOS BÁSICOS	15
2.1 VISÃO GERAL DO PADRÃO IEEE 802.16	15
2.2 ARQUITETURA DO PROTOCOLO	16
2.2.1 PMP	19
2.2.2 Mesh	21
2.2.3 Concatenação, fragmentação e Empacotamento	22
2.2.4 Agendamento (Scheduling Services)	23
2.2.5 Mecanismos de solicitação e alocação de banda	24
2.2.6 Suporte MAC para a Camada Física	26
2.2.7 Solução de Contenção	27
3 UMA PROPOSTA DE ARQUITETURA DE ESCALONAMENTO QoS	29
3.1 DISCUSSÃO	29
3.2 ARQUITETURA QoS PARA PROTOCOLO MAC IEEE 802.16	30
3.3 CSA e CRA	31
3.4 AGENDADOR UPSTREAM	31
3.5 POLICIAMENTO E MOLDAGEM DE TRÁFEGO	33
3.6 ESTRATÉGIA DE AGENDAMENTO UPSTREAM	33
4 CONCLUSÃO	35
4.1 TRABALHOS FUTUROS	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento de uso dos serviços multimídia e de acesso em banda larga à Internet por residências e pequenas empresas, criou demanda para a chamada “última milha”. A tecnologia de acesso em banda larga sem fio (BWA) é uma boa alternativa para a “última milha” pois possui as seguintes vantagens: rápida instalação, grande escalabilidade, baixos custos de manutenção e atualização.

O 802.16 surge como alternativa para redes de acessos a cabos, tais como links de fibras óticas, sistemas coaxiais (a infra-estrutura física da maioria das televisões a cabo) utilizando *cable modems*, e links de acesso de banda larga DSL. Esta tecnologia traz a capacidade de conectar grandes áreas geográficas sem a necessidade de se investir em uma infra-estrutura de alto custo. Algumas barreiras enfrentadas por conexões DSL ou a cabo, na banda larga sem fio não existem, tais como [11]:

- Clientes fora da área onde os serviços DSL são oferecidos;
- Clientes que não fazem parte de uma infra-estrutura residencial a cabo;
- Clientes que acham a conexão muito cara;

O padrão IEEE 802.16, cuja primeira versão data de out/2001 e cuja versão atual IEEE 802.16-2004 (IEEE 802.16-2001, 802.16a-2003 e 802.16c-2002 revisados e consolidados), define a interface aérea e o protocolo MAC para redes metropolitanas sem fio (WMAN), com o objetivo de prover acesso de banda larga sem fio para voz e dados a residências e empresas. O padrão IEEE 802.16 foi concebido com o intuito de satisfazer as necessidades dos usuários que cada vez mais usam serviços multimídia (voz, dados e imagem) de alta qualidade, associados a um sistema de acesso com elevada disponibilidade. Dessa forma, o padrão IEEE 802.16 suporta qualidade de serviço através de mecanismos de agendamento de fluxo de serviços, orientação à conexão e mecanismos para o compartilhamento do meio aéreo implementados na camada MAC. Tal suporte permite tratar os vários fluxos e diferenciá-los para dar garantias aos fluxos de voz, vídeo e demais tráfegos de dados.

Em dezembro de 2002, coordenado pelo IEEE, apareceu também o 802.20 que vem sendo desenvolvido por um consórcio formado por empresas e pesquisadores. Seu desenvolvimento começou com o intuito de ser um complemento ao protocolo 802.16, que já especifica padrões de transmissão sem fio em redes estáticas. O

802.20 especificaria redes sem fio móveis. Porém o padrão 802.16 amadureceu e surgiu a versão 802.16e com mobilidade.

O 802.20 e 802.16 começaram baseados em aspectos técnicos diferentes e endereçaram problemas distintos, mas o desenvolvimento tem feito com que o IEEE 802.16e (Intel) ameace o 802.20 (Motorola / Cisco) na disputa para padrão dominante do BWA (Broadband Wireless Access). [9] O WiMax (802.16e) está bem mais adiantado que o Mobile-Fi (802.20). Espera-se com o WiMax chegar à taxas de 100 Mbp/s. Apoiar o 802.20 pode vir a representar um retorno ao passado. Outra vantagem do 802.16: é uma tecnologia que pode ser acomodada de forma relativamente simples pelas operadoras de telefonia móvel.

Garantir QoS para classes de tráfego heterogêneas, com diferentes requisitos numa rede sem fio de banda larga (BWA), é muito importante e também um desafio. Apesar dos protocolos MAC IEEE 802.16 darem garantias de qualidade de serviço para vários tipos de aplicações, eles não sugerem como agendar o tráfego para atender a estes requisitos. Para fornecer diferentes níveis de QoS para várias aplicações enquanto permanece mantendo um alto nível de utilização do sistema, a arquitetura de QoS deve estar integrada no protocolo MAC.

1.1 Objetivos do trabalho

Descrever o funcionamento do padrão 802.16, enumerar alguns pontos que não foram tratados na norma, isto é, que foram deixados em aberto no padrão IEEE 802.16 (QoS) e, finalmente, é descrito um trabalho que investiga o problema de escalonamento de QoS nesse padrão.

1.2 Organização da monografia

A presente monografia está estruturada em quatro capítulos. O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos relativos ao padrão 802.16. No capítulo 3 é apresentada a proposta de GuoSong *et al* [1] para uma arquitetura de QoS com estratégia eficiente de agendamento (baseada em prioridade de agendamento e alocação dinâmica de banda) O capítulo 4 mostra as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo apresenta os conceitos básicos relativos ao padrão 802.16. O conhecimento deste é de fundamental importância para o entendimento das questões de qualidade de serviço tratadas neste trabalho.

Esse capítulo é organizado em 8 seções. A Seção 2.1 apresenta uma visão geral do padrão. Na Seção 2.2 é mostrada a arquitetura do protocolo. Na Seção 2.3 é descrita a camada de acesso ao meio. Na Seção 2.4 são apresentadas as características da camada física. A Seção 2.5 apresenta o formato da PDU MAC (estrutura do quadro). A Seção 2.6 descreve os esquemas de empacotamento e fragmentação. Na Seção 2.7 e 2.8 são apresentados, respectivamente, o agendador e os mecanismos de requisição e de concessão de largura de banda.

2.1 VISÃO GERAL DO PADRÃO IEEE 802.16

O padrão IEEE 802.16-2004 especifica a interface aérea de sistemas fixos de acesso sem fio de banda larga (BWA - Broadband Wireless Access) com suporte a serviços multimídia, revisa e consolida os padrões IEEE 802.16-2001, 802.16a-2003 e 802.16c-2002.

Usa uma arquitetura ponto-multiponto (PMP), mas opcionalmente pode usar uma topologia Mesh e pode suportar várias especificações de camada física (hardware).

Operando em frequências de 10-66GHz, tipicamente têm-se canais de 25MHz ou 28MHz, onde se consegue taxas de transferência de dados que excedem 120Mb/s. Devido ao curto comprimento de onda nesse modo é exigido linha de visada para operação. Indicado para acesso ponto-multiponto servindo aplicações de pequenos escritórios (SOHO) até aplicações de médios/grandes escritórios.

Com frequências abaixo de 11GHz, obtêm-se ondas de comprimento mais longo o que permite a operação sem visada direta. Neste cenário tem-se a opção de usar a topologia em malha (mesh).

O padrão 802.16 suporta uma variedade de exigências de tráfego, incluindo às da tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e às dos protocolos baseados em pacotes, transmitindo de forma eficiente qualquer tipo de tráfego. Para tal, a interface aérea do IEEE 802.16 foi projetada para transmitir dados ou tráfego multimídia que

necessitam de alto suporte de qualidade de serviço (QoS). Assim, esse padrão foi concebido de forma a ser orientado à conexão com o intuito de garantir qualidade de serviço, característica essencial para comunicação de telefonia e de multimídia, que não admitem atrasos.

O padrão 802.16, utilizando as faixas de frequências entre 10 e 66 GHz, necessita de visada direta, isto é, não é permitido nenhum obstáculo entre o receptor e o transmissor.

Entretanto, em um ambiente metropolitano realista, 50% a 70% dos clientes tipicamente não têm visada direta e aberta ao ponto de acesso devido a grande quantidade de edifícios, árvores, entre outros obstáculos.

Para atender tal ambiente realista, foi especificado o padrão IEEE 802.16a. Esse padrão, utilizando faixas de frequências situadas entre 2 e 11 GHz, permite conexões sem visada direta, o que vem a ser um grande avanço no que se refere ao acesso à banda larga sem fio. Assim, esse padrão alternativo, permite a conexão de mais clientes a uma única torre, reduzindo substancialmente o custo de serviço. Adicionalmente, o padrão 802.16a possibilita o uso da topologia em malha, permitindo a transferência direta entre o transmissor e o receptor. .

O grupo de trabalho 802.16e, responsável em criar uma especificação para clientes 802.16 móveis, já está com os trabalhos avançados em fase de revisão.

2.2 ARQUITETURA DO PROTOCOLO

O padrão IEEE 802.16, conforme ilustrado na figura 1, especifica a camada física (PHY) e a subcamada de acesso ao meio (MAC) para redes metropolitanas de banda larga sem fio (BWA).

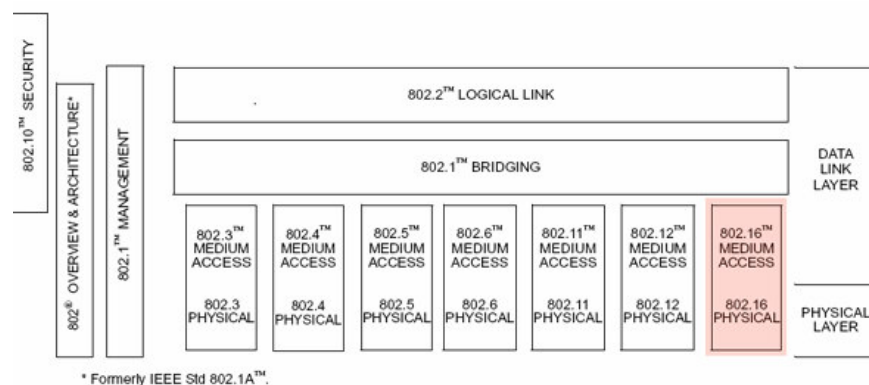


Figura 1 – IEEE 802.16 na família IEEE 802

A camada física especifica o espectro de frequência, o esquema de modulação, as técnicas de correção de erros, a sincronização entre transmissor e receptor, a taxa de dados e a estrutura de multiplexação.

A subcamada de acesso ao meio (MAC), por sua vez, especifica as funções associadas aos serviços oferecidos aos usuários que incluem a transmissão de dados em quadros e o controle do acesso ao meio sem fio compartilhado.

O protocolo MAC define como e quando a estação base ou os assinantes podem iniciar a transmissão no canal. Esse protocolo da subcamada MAC é relativamente simples no sentido estação base para o usuário (*downlink*), pois só existe um transmissor. Já no sentido inverso, do usuário para a estação base (*uplink*), existem múltiplos assinantes competindo pelo acesso, resultando num protocolo mais complexo. A estação base centraliza o controle de todo o sistema.

A subcamada MAC, conforme ilustrado na Figura 2, foi subdividida em 3 subcamadas: a subcamada Convergência de Serviços específicos (CS), a Subcamada Parte Comum (CPS) e a subcamada de Privacidade (Privacy).

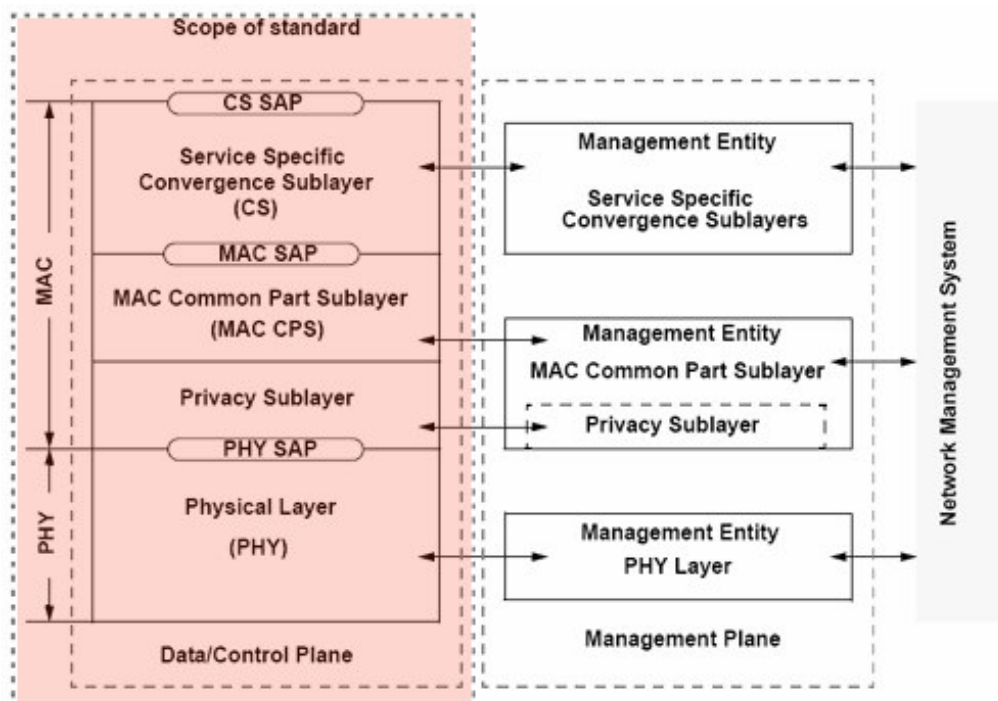


Figura 2 – Divisão em camadas e pontos de acesso (SAPs)

- **Subcamada (CS)**

A subcamada Convergência de serviços específicos (CS) mapeia os dados provenientes da camada mais alta em fluxos de serviço e conexões na camada MAC. Os dados recebidos via ponto de acesso CS (CS SAP) são classificados e depois associados a um identificador de conexões (CID) e a um identificador de fluxo de serviço (SFID) adequado.

A classificação usa critérios de comparação para cada pacote que entra (IP de destino, por exemplo) e estas características de fluxo de serviço associado fornecerão a QoS para este pacote. Caso o pacote não se encaixe em nenhum dos critérios de comparação, a subcamada CS deve descartar o pacote. [10]

O Padrão IEEE 802.16 define duas subcamadas de convergência específicas ao serviço, de modo a mapear serviços de e para as conexões MAC 802.16: a subcamada de convergência ATM e a subcamada de convergência de pacotes. A subcamada de convergência ATM é definida para serviços ATM e a subcamada de convergência de pacotes é definida para mapear serviços de pacotes como Ipv4, Ipv6, Ethernet e *Virtual Local Area Networks* (VLANs).

Em adição a estas funções básicas, as subcamadas de convergência também podem realizar funções mais sofisticadas como supressão e reconstrução de cabeçalho da carga útil, para melhorar a eficiência do *link* aéreo.

- **A subcamada (CPS)**

A subcamada Parte Comum fornece funções de acesso ao sistema, de alocação de largura de banda, de estabelecimento, manutenção e término da conexão. Essa camada MAC é orientada a conexão, ou seja, todos os serviços, incluindo os originalmente sem conexão (ex. Tráfego IP), são mapeados para uma conexão. Para tal, nessa camada estão presentes mecanismos para requisitar largura de banda, associar parâmetros de QoS e de tráfego, e encaminhar os dados para a subcamada de convergência apropriada.

Uma rede que utiliza um meio compartilhado para se comunicar deve prover um mecanismo eficiente de compartilhamento. As topologias de redes sem fio Ponto-multi-ponto (PMP) e Mesh são exemplos de compartilhamento do meio sem fio, onde o meio é o espaço por onde as ondas de rádios se propagam. [10]

2.2.1 PMP

No modo PMP, o tráfego só ocorre entre BS e SS. No padrão IEEE 802.16, tem-se uma estação BS central e uma antena setorial. Sendo capaz de lidar com múltiplos setores independentes simultaneamente. Dentro de um dado canal de frequência e setor da antena, todas as estações recebem a mesma transmissão. A BS é a única a transmitir neste sentido, logo faz isso sem precisar coordenação com as estações assinantes, excetuando a divisão de tempo usando TDD em períodos de transmissão downlink e uplink.

O downlink é em geral de difusão. Nos casos onde o DL-MAP não indica explicitamente que uma parte do período de transmissão downlink é de uma SS específica, todas as SS são capazes de escutar esta transmissão. As SS checam os CIDs das PDUs recebidas e recebem somente as PDU endereçadas a elas. As SS compartilham o uplink sob demanda, podendo obter continuamente direito de transmitir ou o direito pode ser concedido pela BS depois de receber uma solicitação de banda da SS.

Adicionalmente, mensagens podem ser enviadas em conexões multicast (ex. mensagens de controle e de distribuição de vídeo) ou em difusão (broadcast) para todas as estações.

Dentro de cada setor, as SS aderem a um protocolo de transmissão que controla a contenção entre as SSs e permite que serviços sejam ajustados aos requisitos de atraso e banda das aplicações dos clientes.

Logo depois que a SS se registra, conexões são associadas a fluxos de serviço (uma conexão por fluxo de serviço) provendo referência para a requisição de banda. Adicionalmente, serviços do cliente podem necessitar modificar conexões já estabelecidas. O Fluxo de serviço define os parâmetros QoS para as PDUs que são transmitidas na conexão. [10]

O conceito de fluxo de serviço (SFID) numa conexão é central no protocolo MAC. Fluxos de serviço permitem um mecanismo para gerenciamento de QoS downlink e uplink, e são fundamentais para o processo de alocação de banda. Uma SS solicita banda uplink por conexão (identificando implicitamente o SFID), já a banda concedida pela BS para uma SS é um conjunto de concessões em resposta

as solicitações por conexão feitas pela SS. A Qualidade de serviço (QoS) é aplicada na transmissão e agendamento de dados para a camada física (PHY). [10]

As conexões são referenciadas através de Identificadores de Conexão (CIDs) de 16 bits, e podem requisitar largura de banda assegurada continuamente ou largura de banda sob demanda. Cada SS tem um endereço MAC universal de 48 bits que é usado no processo de registro e autenticação entre SS e BS. O CID usa 16 bits, permitindo um total de 64K conexões em cada canal downlink e uplink, e é um identificador de conexão mesmo para tráfego não orientado a conexão como IP, já que ele é um ponteiro para informações de destino e contexto.

Na inicialização da SS, 3 conexões de gerenciamento são criadas entre SS e BS nos 2 sentidos (downlink e uplink). Esses CIDs são definidos nas mensagens de RNG-RSP e REG-RSP e assim temos 3 tráfegos de gerência com QoS diferenciados entre BS e SS: conexão básica, conexão principal de gerência e a conexão secundária de gerência.

A Conexão básica é usada para troca de mensagens curtas e urgentes entre BS e SS. A conexão principal de gerência, por sua vez, é usada para a troca de mensagens de gerenciamento mais longas e mais tolerantes a atraso, como as usadas para autenticação e para estabelecimento de conexão. Por último, a conexão secundária de gerência é usada para a transferência de mensagens de gerenciamento baseado em padrões como DHCP, SNMP, e TFTP.

2.2.2 Mesh

Arquitetura de rede onde sistemas são capazes de encaminhar tráfegos de/para múltiplos outros serviços. A principal diferença entre PMP e o modo opcional Mesh é que, no modo PMP o tráfego só ocorre entre BS e SS, enquanto no modo Mesh o tráfego pode ser roteado através de outras SSs, e pode ocorrer diretamente entre SSs. Dependendo do algoritmo tem-se um agendamento distribuído, ou centralizado com controle realizado pela Mesh BS ou uma combinação dos dois.

Dentro de uma rede Mesh, um sistema que tem conexão direta com serviços pertencente a uma rede central (backhaul) fora da rede Mesh é denominado Mesh BS. Todos os outros sistemas pertencem à rede Mesh e são chamados de Mesh SS. Em geral, os sistemas de uma rede Mesh são chamados de nós. No contexto Mesh,

uplink e downlink são definidos como tráfego no sentido da Mesh BS e no sentido inverso da Mesh BS, respectivamente.

Os outros 3 importantes termos em sistemas Mesh são vizinho, vizinhança e vizinhança estendida.

As estações com as quais um nó tem ligação direta são chamadas de vizinhos. Vizinhos de um nó formam uma vizinhança. Vizinhos de um nó são aqueles que estão a um salto de distância de um nó. Uma vizinhança estendida contém adicionalmente todos os vizinhos da vizinhança.

Em um sistema Mesh, nem mesmo a Mesh BS pode transmitir sem coordenação como os outros nós. Usando agendamento distribuído, todos os nós incluindo a Mesh BS devem coordenar suas transmissões com suas vizinhanças (2 saltos) e devem difundir suas agendas (recursos disponíveis, solicitações e ofertas) para todos seus vizinhos. Opcionalmente a agenda pode também ser estabelecida por solicitações e ofertas diretas sem coordenação entre dois nós. Os nós devem assegurar-se que as transmissões resultantes não causaram colisões com o tráfego de dados e de controle agendados por qualquer outro nó numa vizinhança de 2 saltos de diâmetro. Não há diferença no mecanismo usado para determinar a agenda uplink e downlink.

Ao usar o agendamento centralizado, os recursos são concedidos de forma mais centralizada. A Mesh BS deve coordenar as solicitações de recursos para todas as Mesh SS dentro de certa faixa de saltos. A Mesh BS deve determinar a disponibilidade de recursos de cada link na rede, tanto downlink quanto uplink, e comunicar estas ofertas para todas as Mesh SSs dentro desta faixa de saltos. As mensagens de oferta não contêm a agenda, mas cada nó deve computá-la usando o algoritmo pré-determinado com os parâmetros passados.

Todas as comunicações estão no contexto de um link que é estabelecido entre dois nós. Um link deve ser usado para todas as transmissões de dados entre os dois nós. A QoS é conseguida nos links mensagem-a-mensagem.

Nenhum serviço ou parâmetro de QoS é associado com um link, mas cada mensagem unicast tem parâmetros de serviço no cabeçalho. A classificação de tráfego e regulação de fluxo são feitos no nó de ingresso pelo protocolo de classificação/regulação da camada acima. Os parâmetros de serviço associados com cada mensagem devem ser comunicados junto com o conteúdo da mensagem através da MAC SAP.

Sistemas Mesh tipicamente usam antenas omnidirecionais, mas também podem usar antenas setoriais.

- **Subcamada de Privacidade (Privacy)**

A subcamada de segurança lida com privacidade e segurança. Fornece autenticação, troca de chave de segurança e codificação. O detalhamento desta subcamada foge ao escopo deste trabalho.

2.2.3 Concatenação, fragmentação e Empacotamento

Múltiplos MAC PDUs podem ser concatenados numa mesma transmissão tanto downlink quanto uplink, já que cada MAC PDU é identificado unicamente por um CID. Mensagens de gerenciamento MAC, dados de usuário, PDUs MAC de solicitação de banda podem ser concatenados numa mesma transmissão.

Fragmentação é feita dividindo um MAC SDU em um ou mais PDUs. MAC Este processo permite o uso eficiente da largura de banda disponível em relação aos requisitos de QoS. Tanto BS (downlink) quanto SS (uplink) podem começar o processo. No empacotamento podem-se colocar vários MAC SDUs em uma única PDU MAC. O uso simultâneo de fragmentação e empacotamento permite o uso eficiente do meio aéreo.

2.2.4 AGENDAMENTO (SCHEDULING SERVICES)

Os serviços de agendamento representam os mecanismos suportados pelo agendador da MAC para transporte de dados numa conexão. Cada conexão está associada a um único serviço de dados e cada serviço de dados é associado a parâmetros de QoS.

Os quatro serviços definidos para suportar QoS são: Unsolicited Grant Service (UGS), Real-Time Polling Service (rtPS), Non-Real-Time Polling Service (nrtPS) e Best Effort service (BE). BS pode antecipar as necessidades de vazão e latência do tráfego uplink e prover *polls* e banda nos momentos apropriados. Cada serviço é específico para um tipo de fluxo de dados. [10]

- **Unsolicited Grant Service** - Desenvolvido para suportar fluxo de serviço de tempo real que geram pacotes de tamanho fixo, periodicamente, como serviços tipo CBR (E1/T1) e Voz sobre IP sem supressão de silêncio. Oferece concessões de banda de tamanho fixo, periodicamente, eliminando o overhead das solicitações e garantindo que banda esteja disponível para atender às necessidades. Entretanto, banda reservada pode ser desperdiçada quando os fluxos UGS correspondentes estiverem inativos.
- **Real time polling Service** – Suporta fluxos em tempo real que geram pacotes de tamanho variável, periodicamente, como, por exemplo, vídeo MPEG. Neste tipo de serviço a estação base consulta os assinantes, a intervalos fixos, sobre a quantidade de largura de banda necessária em cada momento. Tendo em vista que os assinantes emitem pedidos explícitos, o overhead e a latência do protocolo são aumentados. Este serviço se destina a atender as necessidades dos serviços que são dinâmicos por natureza, mas oferece oportunidades dedicadas de requisição para atender necessidades de tempo real. Esse serviço requer mais overhead de solicitação que UGS Non Real time polling service - Suporta fluxos de dados tolerante a atraso, de tamanhos variáveis e taxa de dados mínima. Esse Serviço envia polls unicast periodicamente (base de 1 seg), garantindo oportunidades de transmissão mesmo durante congestionamento. O serviço de taxa de bits variável não de tempo real (Non-Real-Time Polling Service - nrtPS) se destina a transmissões pesadas que não são de tempo real, como aquelas relacionadas a transferência de grandes arquivos, como FTP. Quanto a política de solicitação/transmissão, SSs são permitidos usar oportunidades de solicitação em contenção, oportunidades de solicitação unicast e concessão de banda não solicitada por SS.
- **Best Effort** - A intenção é prover serviço eficiente a tráfego de melhor esforço. A política de solicitação/transmissão deve ser tal que a conexão possa usar oportunidades de contenção para a solicitação. O serviço de melhor esforço (*Best Effort* - BE) não fornece nenhuma garantia que uma conexão consiga o acesso ao link. O assinante deve disputar a largura de banda com outros assinantes do serviço de melhor esforço. As solicitações de largura de banda são feitas em slots de tempo marcados no mapa uplink como disponíveis para

disputa. Se uma solicitação for bem sucedida, seu sucesso será notado no próximo mapa downlink. Se ela tiver sucesso, os assinantes mal sucedidos terão de tentar de novo mais tarde. Nem garantias de vazão nem de atraso são prometidas.

2.2.5 Mecanismos de solicitação e alocação de banda

Todos os serviços necessitam de aumento ou redução de banda, com exceção das conexões UGS de taxa de bit constante, cujas necessidades não mudam desde o momento do estabelecimento até o término. Existem diversos métodos onde uma SS pode obter a mensagem de pedido de banda para o SS, que são descritos a seguir.

- **Solicitações**

As solicitações são mecanismos que as SSs usam para indicar à BS que eles necessitam alocar banda para o canal uplink e vêm no Bandwidth Request Header, que pode vir standalone ou como um PiggyBack. As solicitações são feitas em número de bytes (MAC+payload), pois o perfil de rajada uplink muda dinamicamente.

Pedidos podem ser incrementais ou agregadas. O tipo é indicado no campo Type no Bandwidth Request Header. Quando BS recebe solicitação incremental, soma o valor pedido a sua percepção atual de banda necessária a conexão. Na solicitação agregada, a BS troca sua percepção pelo valor de banda solicitado. Como solicitações de banda em piggyback não possuem campo Type, elas são sempre incrementais.

A natureza autocorretiva do protocolo de solicitação requer que a SS use periodicamente solicitações agregadas. O período pode ser uma função da QoS do serviço e da qualidade do link.

- **Concessões**

Solicitações de Banda são endereçadas a conexões individuais para uma SS, já a concessão de banda é direcionada ao CID básico da SS, e não a CIDs

individuais. Quando uma SS recebe uma oportunidade de transmissão menor do que a solicitada, a SS pode decidir realizar backoff e solicitar novamente ou descartar o SDU.

Uma SS pode usar, para solicitar banda, Request IEs que vieram em broadcast, direcionados a um grupo multicast do qual ela faça parte, ou direcionados a seu próprio CID. Em um Data Grant IE direcionado ao CID Básico de uma SS, ela pode solicitar banda para qualquer uma de suas conexões.

- **Polling**

O Polling é o processo pelo qual a BS aloca banda para SSs especificamente com o objetivo de estes solicitarem banda. As alocações podem ser para SS individuais ou grupos. Alocações a grupos de conexões/SSs definem os IEs de Pedido em contenção de banda. As alocações não são feitas por mensagens, mas são contidas como uma em séries de IEs dentro do mapa uplink. O polling é feito com base em conexões ou SSs. Quando uma SS é “poliada” individualmente (Polling Unicast), nenhuma mensagem é transmitida explicitamente para “polear” a SS. Ao invés disso, é alocada a SS, no mapa uplink, banda suficiente para responder com um pedido de banda. Se SS não precisa de banda, retorna stuff bytes (0xFF). SS que possui uma conexão UGS ativa com banda suficiente não precisa ser poliadas individualmente a não ser que o bit Poll-Me esteja ligado no cabeçalho de um pacote da conexão UGS.

Caso a banda seja insuficiente para poliar muitas SS inativas, pode-se agrupar algumas SSs e “poliar” o grupo multicast ou pode-se realizar um poll broadcast (CID = 0xFFFF). Certos CIDs são reservados para grupos multicast ou para broadcast. Da mesma maneira que o Polling unicast, o Polling multicast/broadcast não é uma mensagem explícita mas banda alocada no UL_MAP. Com o intuito de reduzir a probabilidade de colisões com polling multicast/broadcast, somente as SSs precisando de banda devem responder. Para tal, devem usar o algoritmo de resolução de contenção para decidir em qual slot deverá ser transmitido sua solicitação. Pedidos de tamanho nulo de banda não devem ser usados em Intervalos de pedido broadcast/multicast.

A SS assume que a transmissão teve sucesso se nenhuma banda for recebida até o Random Access Timeout. A contenção pode levar a pedidos

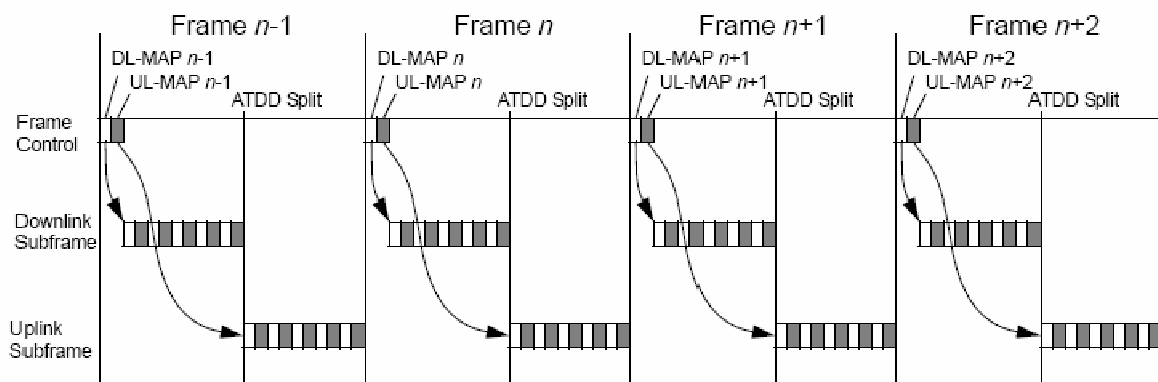
errôneos, SS pode assumir que não chegou e mandar novamente (pedir mais do que precisa).

- **PM bit**

As SSs com conexões UGS ativas podem setar o bit PM, no subcabeçalho do pacote MAC da conexão UGS, indicando para o BS que necessitam ser poleados com o intuito destes solicitarem pedidos de Banda para conexões não UGS. Para reduzir os requisitos de banda de polling individual, SS com conexões UGS ativas necessitam ser poleadas individualmente somente se o bit PM for setado. Para evitar que a BS perca o bit, a SS pode setá-lo em todos os subcabeçalhos de gerenciamento de concessão MAC UGS no intervalo do escalonamento uplink.

2.2.6 Suporte MAC para a Camada Física

Técnicas de duplexação são suportadas pelo protocolo MAC. No caso do TDD, os canais uplink e downlink compartilham a mesma frequência, mas são separados por tempo. Um quadro TDD também tem duração fixa e contém um subquadro uplink e um subquadro downlink. O enquadramento do TDD é adaptativo, podendo alocar mais capacidade para downlink ou para uplink. No *Frequency Division Duplexing (FDD)*, os canais Uplink e downlink usam frequências diferentes. Cada SS pode enviar e receber simultaneamente. No canal downlink, usa-se Time Division Multiplexing (TDM) com tráfego em broadcast. O canal Uplink é compartilhado usando Time Division Multiple access (TDMA) onde o escalonador uplink centraliza a alocação de banda. A utilização dos intervalos downlink é definida no Mapa Downlink (DL-MAP) e no Mapa Uplink (UL-MAP) a utilização dos *intervalos* uplink é feita através de uma série de elementos de informação - IEs (Information Elements), que definem a utilização de cada intervalo uplink. O UCD/DCD (Uplink/Downlink Channel Descriptor) são mensagens de controle que descrevem características físicas do uplink/downlink.



Minimum time relevance of PHY and MAC control information (TDD)

Figura 3 – Utilização de DL-MAPs e UL-MAPs

2.2.7 Solução de Contenção

A BS controla as atribuições no canal uplink através do UL-MAP e determina que intervalos estão sujeitos a colisões. Podem ocorrer colisões durante os intervalos Initial Ranging e Request.

Como SS pode ter vários fluxos de serviço uplink, cada um com seu próprio CID, as decisões são tomadas por CID ou por serviço QoS. O método usado para solução de contenção é o backoff exponencial binário truncado, com limites da janela de backoff controlados pela BS. Os valores dos limites são especificados na mensagem UCD e representam potências de 2.

Exemplo: valor 4 significa janela de 0 a 15. SS seleciona randomicamente um número dentro da janela. Este número representa a quantidade de oportunidades de transmissão que a SS irá ignorar antes de transmitir. Cada IE pode consistir de múltiplas oportunidades de transmissão. Por exemplo, considere uma solicitação de banda, com janela de backoff de 0 a 15 e que a SS selecionou randomicamente 11. A SS vai esperar 11 oportunidades. Caso no primeiro request, o IE seja 6. A SS terá que aguardar ainda 5 oportunidades de transmissão para poder transmitir. Assim, fica aguardando o próximo intervalo de request.

Um SS sabe que completou a transmissão (1) se no intervalo de Initial Ranging, recebe o RNG-RSP, (2) e se no intervalo bandwidth Request recebe concessão de banda, isto é, IE do tipo Data Grant Burst. Caso não receba resposta

dentro de um intervalo, ocorrerá timeout, e a transmissão é considerada perdida. Em seguida, a janela de backoff é aumentada em uma potência de 2, é escolhido um novo valor de backoff e o processo é recommçado. Enquanto SS não transmite com sucesso, este procedimento continua até atingir o valor máximo de transmissões sem sucesso (Request Retries ou Contention Ranging Retries). No caso de solicitação de banda, o PDU é descartado. Caso receba um IE do tipo Request unicast ou Data Grant Burst não solicitado, a SS aborta o processo de contenção e usa a oportunidade de transmissão explícita.

Define-se oportunidade de transmissão como sendo qualquer intervalo no qual uma SS pode iniciar uma transmissão. Exemplo: Uma solicitação de banda utiliza 8 minislots (2 em preâmbulo, 3 em SS transition GAP e 3 em mensagem de solicitação). Se a BS programa um Request IE de 24 minislots, haverá 3 oportunidades de transmissão. .

3 Uma proposta de arquitetura de escalonamento QoS

Nos protocolos MAC do padrão IEEE 802.16, certos pontos não foram cobertos pelo padrão e deixados sob a responsabilidade dos fabricantes. Um desses pontos é como combinar de forma eficiente a estratégia de requisição de banda e a estratégia de alocação de banda (agendador) para manter QoS e justa distribuição entre os diferentes tráfegos. Um outro ponto é que as requisições de alta prioridade não podem ser identificadas durante o acesso e, portanto, podem permanecer colidindo com requisições de prioridade baixa. Para resolver estas questões. GuoSong *et al* [1], apresentaram uma proposta de arquitetura de escalonamento eficiente para prover garantias QoS para um sistema BWA. Tal proposta é apresentada neste capítulo.

3.1 Objetivos

Esse tópico apresenta o trabalho de GuoSong *et al* [1]. O objetivo do trabalho é propor uma arquitetura QoS eficiente, baseada em agendamento (prioridades) e alocação dinâmica de banda, para prover garantias de QoS para uma BWA. Esse trabalho é baseado numa topologia BWA fixa que inclui no mínimo uma estação base (BS) e uma ou mais estações de assinantes (SS) (Figura 4).

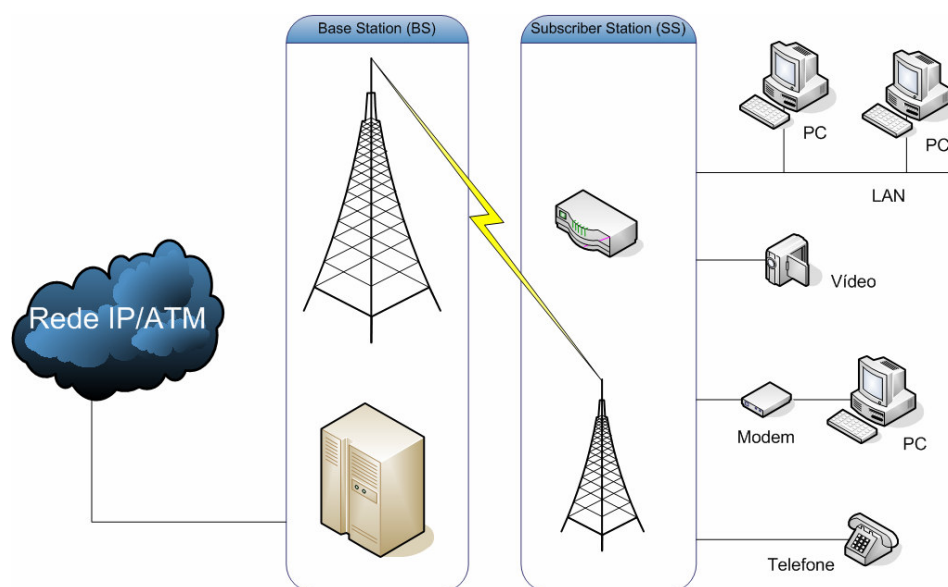


Figura 4 – Arquitetura de uma BWA

A BS é o nó central e as SS estão a diferentes distâncias da BS. O fluxo de dados da BS para SS (canal downstream) é feito em difusão, enquanto o canal upstream é um meio compartilhado de acesso múltiplo. O canal upstream é dividido em fatias de tempo chamadas mini-slots usando TDMA (time-division multiple access). Já o canal downstream usa TDM (time-division multiplexing), para dividir o tempo entre frame uplink e frame downlink. Cada SS pode transmitir voz e dados com diferentes exigências de QoS.

3.2 Arquitetura QoS para protocolo MAC IEEE 802.16

A proposta de arquitetura QoS para protocolo MAC do IEEE 802.16 (Figura 5), inclui classificador de tráfego, agendador das SSs para acesso upstream, agendador de concessões de banda upstream pela BS (grants) e agendador downstream. Para prover diferentes garantias de QoS para várias aplicações, enquanto é mantida alta utilização do sistema, a arquitetura é integrada ao protocolo MAC.

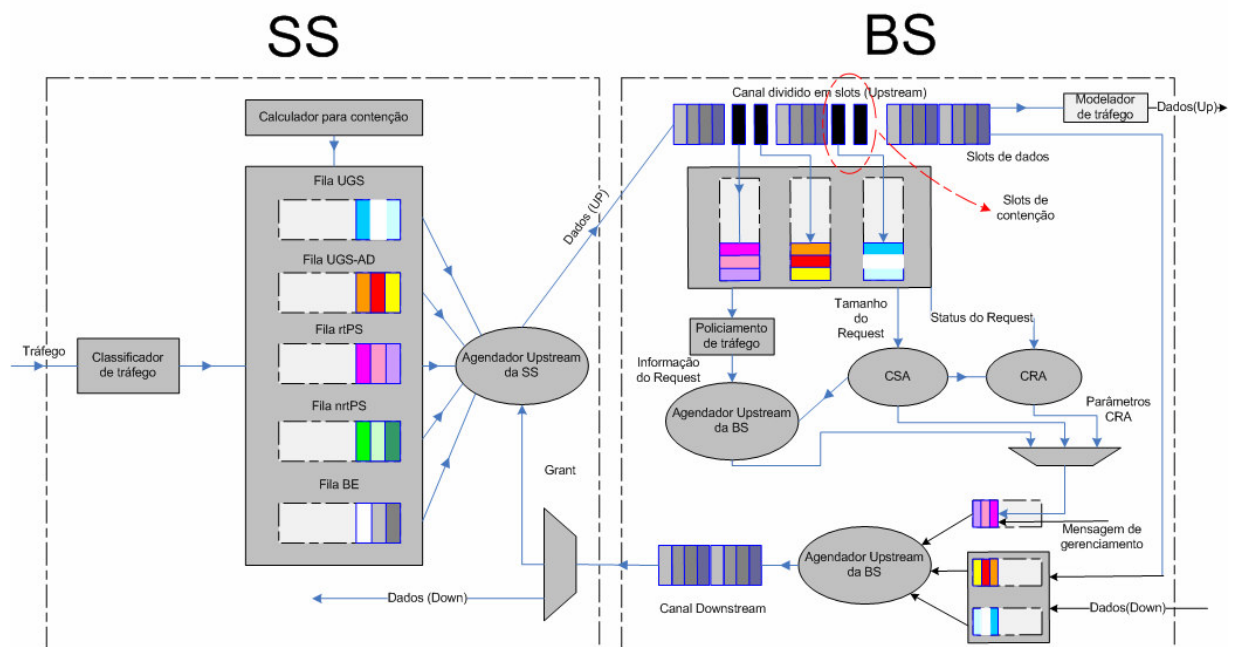


Figura 5 – Sugestão de arquitetura QoS para o protocolo MAC do IEEE 802.16 (GuoSong *et al* [1])

3.3 CSA e CRA

O Alocador de slot de contenção (CSA), é usado pela BS para ajustar dinamicamente a relação entre a banda alocada para os slots de contenção e a banda alocada para os slots reservados. O CSA decide o número de slots no canal upstream, podendo impactar de forma significativa o desempenho do sistema. Poucos slots alocados para contenção aumentam as chances de colisão entre as solicitações de banda, reduzindo a quantidade de dados que poderiam ser transmitidos. Por outro lado, muitos slots alocados para contenção reduzem a quantidade de banda concedida para transmissão de dados. Encontrar uma relação satisfatória entre o número de slots alocados para contenção, e a quantidade de banda concedida para transmissão precisa ser investigada, pois tal relação não foi tratada pela norma. A saída do CSA define os recursos alocados para o CRA e para o Agendador de fluxos upstream da BS para resolução de contenção e agendamento.

O Algoritmo de Resolução de Contenção (CRA) define a utilização dos slots de contenção e as regras usadas para resolver a contenção em si. Os slots de contenção só são usados por fluxos nrtPS e BE, por isso um algoritmo simples pode ser usado.

3.4 Agendador upstream

O agendador BS pode ter somente informações limitadas ou atrasadas sobre o estado atual de cada conexão upstream, devido ao grande tempo de ida e volta (RTD) e possível ocorrência de colisão numa transmissão no canal upstream. A BS pode não saber precisar corretamente os tempos de chegada dos pacotes upstream nas SSs, afetando assim a exatidão do processo de agendamento e o nível de QoS que esta pode prover.

Ao mesmo tempo, cada SS pode ter muitas conexões ativas em paralelo e cada uma delas tenha requisitos diferentes de QoS. Estas conexões não podem simplesmente ser multiplexadas numa fila FIFO comum e, conseqüentemente, um agendador por SS deve ser usado para determinar a sua ordem de serviço.

As conexões de uma SS são tratadas como uma única entidade pelo agendador da BS. Assim, em cada SS, um agendador adicional deve ser

implementado para alocar os slots upstream concedidos pela BS para suas respectivas conexões.

Cada SS somente informa ao Agendador da BS o total de banda requerida para suas conexões, podendo ser feito com pouca banda alocada. Desta forma, mesmo que a BS não saiba que um pacote urgente chegou na SS, a este pacote pode ser dada maior prioridade e assim prover garantias de QoS, na medida que se tenha na SS um bom algoritmo agendador.

Já que o agendador upstream da SS tem informações atualizadas do estado de cada conexão, melhores garantias de QoS podem ser conseguidas. Além disso, o agendador upstream da BS não precisa de informações detalhadas de cada conexão na SS, reduzindo a carga de processamento no agendador upstream da BS.

O agendador upstream da SS tem dois principais pontos que devem ser tratados. No primeiro, a BS não é capaz de dar garantias de QoS para tráfegos de alta prioridade porque os diferentes tipos de tráfegos disputam os slots de contenção para solicitação de banda, apesar dos seus diferentes níveis de requisitos de QoS. Nesse modo, o agendador upstream da SS implementa uma fila de prioridade de acesso eficiente. No segundo, implementar nas SSs, um agendador para alocar apropriadamente os slots upstream concedidos para as suas respectivas conexões com diferentes requisitos de QoS.

Como é mostrado na figura 5, as filas de prioridade consistem em filas de fluxo de serviço UGS, UGS-AD, rtPS, nrtPS e BE que fornecem múltiplos níveis de QoS. Quando são gerados tráfegos em uma SS, seu classificador de tráfego separa estes em diferentes filas por prioridade. Então o CRC estipula diferentes parâmetros de competição para UGS, UGS-AD, rtPS, nrtPS e BE, respectivamente. De acordo com estes parâmetros, o agendador de tráfego faz um arranjo para os diferentes tráfegos (UGS, UGS-AD, rtPS, nrtPS e BE) disputarem os slots alocados para solicitação de banda em contenção. Ao mesmo tempo, o agendador de tráfego aloca os slots upstream concedidos para diferentes conexões com diferentes requisitos de QoS. Se os tráfegos UGS, UGS-AD, rtPS requisitarem banda com sucesso, eles não irão disputar slots de contenção com outros tráfegos.

3.5 Policiamento e Moldagem de Tráfego

Uma seqüência de slots alocados em ordem arbitrária pela BS pode alterar o padrão de tráfego de uma conexão e resultar em violação de contrato de QoS. É necessário manter os valores contratuais de tráfego usando moldagem. Para tal, é proposto nesse trabalho o uso de moldagem de tráfego por conexão na BS nas entradas das redes interconectadas.

Como a SS pode intencionalmente exceder os parâmetros de tráfegos negociados durante o estabelecimento da conexão, e, por conseguinte, sobrecarregar a rede, a BS deve implementar um módulo responsável pelo policiamento de tráfego para garantir que a conexão está dentro dos padrões de tráfego negociados.

Para monitorar o tráfego dos usuários eficientemente, o módulo de policiamento deve estar localizado o mais próximo possível da origem do tráfego. Um módulo ideal de policiamento deve detectar e corrigir uma violação de tráfego rapidamente e de forma transparente para as conexões. Para tal, a proposta de GuoSong *et al* [1] é que o módulo de policiamento de tráfego seja integrado na BS com o Gerenciamento de Recursos Upstream (upstream resource management) resultando em um protocolo MAC centralizado. A BS deve impedir que uma SS use mais banda Upstream do que o especificado. Uma solução alternativa é colocar o policiamento de tráfego na própria SS e rejeitar a requisição lá mesmo.

3.6 Estratégia de Agendamento Upstream

Esta seção vai fazer uso da discussão acima para propor uma estratégia de agendamento upstream levando em conta a arquitetura QoS já descrita.

Para cada serviço UGS, UGS-AD, rtPS, nrtPS, BE, múltiplas conexões são agregadas nos seus respectivos fluxos de serviços. O processo de agendamento foi dividido em dois passos. O primeiro passo é desempenhado pela BS. De acordo com as informações de solicitação de banda da SS, o agendador upstream da BS concede banda para a SS. Em seguida, o agendador upstream da SS se responsabiliza por selecionar os pacotes apropriados para as filas UGS, UGS-AD, rtPS, nrtPS, BE e enviá-los através dos slots de dados concedido pelo agendador upstream da BS.

Quando se implementa o agendador upstream da SS, pode-se usar a política MPFQ (Multiclass Priority Fair Queuing) [3] com algumas modificações. Para cada categoria de serviço existe uma classe de prioridade na MPFQ. Cada uma das classes de prioridade tem seu próprio agendador de pacotes, determinando a ordem dos pacotes da própria classe. Pode-se usar a política WFQ [4] (Wireless Fair Queuing) para os tráfegos de mais altas prioridades para prover baixo atraso, a política WRR [5] (Weighted Round Robin) pode ser usado para tráfegos de médias prioridades já que os requisitos de atraso não são tão exigentes nessas classes; e a política WRR e FIFO para os tráfegos das demais classes de baixa prioridade .

O pacote a ser transmitido é escolhido das classes de maior prioridade enquanto existir pacotes a serem transmitidos nessas classes. Significa que pacotes de fluxos vindos de classes de baixa prioridade têm que esperar que os das classes de maior prioridade sejam completamente transmitidos. Com esse modo de priorização, os tráfegos que requerem baixos atrasos (UGS e rtPS) podem ter suas garantias de atraso atendidas.

As prioridades dos fluxos de serviço e suas respectivas políticas de fila estão na tabela 1.

Tabela 1 - Prioridade e Políticas de Filas dos Fluxos de Serviços

Prioridade	Fluxos de serviço	Política de fila
1	UGS	WPS
2	UGS-AD	WPS
3	rtPS	WPS
4	nrtPS	WRR
5	BE	FIFO

Quando se implementa o agendador upstream da BS, percebe-se que WRR é mais adequado porque o tempo exato de chegada do pacote não está envolvido com a computação do tempo virtual de finalização. Esta é a situação real onde a BS tem informações limitadas sobre o tráfego gerado na SS e, portanto, a alocação de banda baseada em requisição de banda é mais apropriada.

4 Conclusão

Esta monografia apresentou o padrão IEEE 802.16 para redes sem fio metropolitanas, e uma proposta de arquitetura de escalonamento QoS para IEEE 802.16. O padrão vem para atender as necessidades crescentes do mercado em transmissão de voz e vídeo, aliado com uma eficiência de transmissão obtida com técnicas de modulação e propriedades de transmissão adaptáveis aos diferentes tipos de tráfegos e às necessidades específicas da transmissão.

Nos protocolos MAC do padrão IEEE 802.16, mostrou pontos abertos para discussão ou sob responsabilidade dos fabricantes: como combinar de forma eficiente a estratégia de requisição de banda e a estratégia de alocação de banda (agendador) para manter QoS e justa distribuição entre os diferentes tráfegos.

Para resolver estas questões foi apresentada uma proposta de arquitetura QoS para IEEE 802.16 de GuoSong et al [1] que sugerem uma arquitetura QoS eficiente para prover garantias QoS para um sistema BWA. O propósito foi de prover vários níveis de QoS para várias aplicações enquanto se mantém um alto nível de utilização do sistema. Um passo a mais foi dado para integrar uma arquitetura QoS eficiente com o protocolo MAC IEEE 802.16.

A mobilidade é fator importante nos projetos de rede atuais, entretanto, ambos os padrões IEEE 802.16 e IEEE 802.16a são sistemas fixos de rede banda larga sem fio. As redes metropolitanas sem fio podem atingir grandes áreas e altas taxas de transferência de dados, em breve com o padrão IEEE 802.16e terá a mobilidade comum nas redes celulares, o que é um grande atrativo do mercado de redes. O padrão IEEE 802.16e, que permitirá mobilidade às redes sem fio metropolitanas, ainda está em fase de homologação, sendo previsto para ser ratificado em 2005. Este padrão promete ser também uma alternativa sólida às redes de telefonia de 3G que oferecem multimídia móvel com transmissão de dados de até 2 Mbps.

Quanto a trabalhos futuros, é proposto o estudo de QoS no padrão IEEE 802.16e, avaliando o impacto da mobilidade na QoS. Desempenho e estabilidade associados à arquitetura de escalonamento QoS ainda serão investigados através de simulações.

REFERÊNCIAS

- [1] GuoSong, C., Wang, D., Mei, S., *A QoS architecture for the MAC protocol of IEEE 802.16 BWA system*. (Beijing, China, julho de 2002).
- [2] Melo Filho, J. C. *Mecanismos de controle de qualidade de serviço em redes IEEE 802.11*. Orientador: Luci Pirmez. Rio de Janeiro, 2003. Dissertação. (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- [3] International Organization for Standardization. *Quality of service basic framework* - outline. ISO/ IEC JTC1/ SC21/ WG1 N1145, 1994.
- [4] Eklund, Carl. *et al.* IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access. IEEE Communications Magazine, jun. 2002. (http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf acessado em junho/2005).
- [5] Nahrstedt, K., e Steinmetz, R., *Resource management in networked multimedia systems*. IEEE Computer (maio de 1995), 52_63.
- [6] Keshav, S., *An Engineering Approach to Computer Networking: ATM Networks, the Internet, and the Telephone Network*. Addison - Wesley, 1997.
- [7] Zivan Ori, Yigal Eliaspur, *UGS with Activity Detection for 802.16e* (Tel Aviv, Israel, novembro de 2004) IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group (<http://ieee802.org/16> acessado em janeiro/2005).
- [8] Eklund, Carl. The IEEE 802.16 Standard for Broadband Wireless Access. (<http://docenti.ing.unipi.it/ew2002/proceedings/pmp002.pdf> acessado em junho/2005).
- [9] Prado, E., Brasil, 2003. INTEL (com Nokia) & MOTOROLA (com Cisco) NO 4G: Outra grande disputa. Disponível em(acessado em 22/09/2005): http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/secoes/sec_802_20.html
- [10] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems* IEEE Std 802.16-2004 (Junho, 2004).
- [11] Oliveira, J.M.; Fernandes, M. Redes sem fio Metropolitanas baseadas no padrão 802.16: um estudo de caso para Belém. Orientador Prof. Antônio Jorge Gomes Abelém. Belém, 2005. Projeto final (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Pará, 2005.